

- 2 Применение для расчетов радиуса скругления кромки  $r > 0,01h$  является нецелесообразным, так как при этом происходит снижение точности вычислений, обусловленное все более существенным уходом от первоначальной расчетной модели с ростом  $r$ . Использование  $r > 0,01h$  приводит к погрешности вычислений  $\Delta > 5\%$  в диапазоне  $x < 0,025d$ .

**Список литературы:** 1. В.В.Рудаков, Ю.В.Кравченко, В.О.Лысенко «Краевой эффект» у скошенного края обкладки конденсатора // Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: «Техніка і електрофізика високих напруг». – Харків: НТУ «ХП». – 2007. – № 34. – С. 85-92. 2. Рудаков В.В. Оптимизация конструкции конденсатора // Техническая электродинамика. – 1996. – № 5. – С. 6-9. 3. Набока Б.Г. Расчеты электростатических полей в электроизоляционной технике. – К.: ИСНО, 1995. – 120 с. 4. Матис И.Г., Слава Х.Э. Оптимизация распределения узлов интегрирования и оценка погрешности численного решения интегральных уравнений для задач электростатики // «Изв. АН Латв. ССР». – 1975. – № 5. – С. 65-71. 5. Резвыж К.А. Расчет электростатических полей в аппаратуре высокого напряжения. –М.: Энергия, 1967. – 120 с.

*Поступила в редколлегию 29.09.2008*

УДК 621.396

**В.І.КРАВЧЕНКО**, докт.техн.наук;  
**А.Е.ГОРЮШКІН**; НТУ «ХП», Харків

## **ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФУНКЦІОНУВАННЯ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ВИМІРЮВАЧА ПАРАМЕТРІВ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ**

У статті проведено аналіз особливостей моделювання аналого-цифрового вимірювача параметрів широкосмугових сигналів та запропонована модель широкосмугового імпульсу наносекундної тривалості до та після аналого-цифрового перетворення.

The analysis of specialties for the modeling of devices, realizing Analog-to-Digital methods, suitable for measurement of parameters wide-band signals and the model of extra-short pulse before and after Analog-to-Digital converting are discussed.

**Вступ.** Важливим моментом при моделюванні функціонування вимірювача є оцінка досяжних характеристик при обробці як реальних сигналів, так і їхніх моделей. При вимірі часових параметрів такими є: для вузькосмугових випромінюючих систем – обвідна (найчастіше прямокутної форми), а для сигналу на основі імпульсів малої тривалості (ІМТ), що випромінюються ультрширокосмуговими системами – деяка функція, що описує напругу на виході приймальної антени реперного вимірювача.

Перспективним представляється моделювання ІМТ дійсними функціями часу й, як наслідок, виключення з розгляду складових комплексної моделі – обвідної та фази.

**Метою роботи** є аналіз особливостей моделювання аналого-цифрового вимірювача параметрів широкосмугових сигналів.

Властивості ІМТ, що викликають протиріччя при їхньому математичному описі традиційними методами, приводять до перегляду принципів побудови апаратури. Необхідність аналізу істотно несинусоїдальних радіосигналів з "серединною" частотою спектра  $f_0$  вимагає використання вимірювальної апаратури з розрізнявальною здатністю за часом, що становить малі частки періоду частоти  $f_0$ . У таких умовах втрачає зміст класична операція детектування радіосигналу, а також виключається обробка інформації з носіїв каналів.

Вибір функції, що описує імпульс малої тривалості, повинен ураховувати той факт, що при застосуванні реперних вимірювачів на вхідний сигнал накладаються шумові складові різного характеру: низькочастотні, обумовлені наведеннями мережі змінного струму на елементи конструкції й з'єднуючі кабелі; високочастотні – внаслідок резонансу елементів конструкції вимірювача й кабелів різної довжини.

Ще одна особливість математичного подання ІМТ пов'язана з вимогою нульового значення спектральної функції  $E(\omega)$  довільного радіосигналу  $E(t)$  на нульовій частоті ( $\omega = 0$ ) [1]:

$$E(\omega = 0) = \int E(t) e^{j\omega t} dt = 0, \quad (1)$$

або

$$\int E(t) dt = 0.$$

Фізично це відповідає неможливості випромінювання поля постійного струму випромінювачем кінцевих розмірів. Для вузькосмугових сигналів умова (1) виконується з достатньою точністю й тому не перевіряється.

Для моделювання імпульсних сигналів, зокрема при аналізі впливу електромагнітного випромінювання ядерного вибуху (ЕМВ ЯВ), використовуються в основному біекспоненціальна модель, що описується часовою функцією виду [2]:

$$E(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t \leq 0 \\ E_0 k [\exp(-\alpha_1 t) - \exp(-\alpha_2 t)] & \text{при } t > 0 \end{cases} \quad (2)$$

У табл. 1 приведені чисельні значення параметрів і коефіцієнтів, що входять в аналітичний вираз (2)

На рис. 1 приведені типові форми раніше описаних ЕМВ ЯВ.

Виходячи з приведених рисунків, часові параметри імпульсів охоплюють досить широкий часовий діапазон від одиниць наносекунд до секунд. У зв'язку з цим й спектральні складові частоти цих імпульсів також будуть лежати в широкому діапазоні (до сотень МГц).

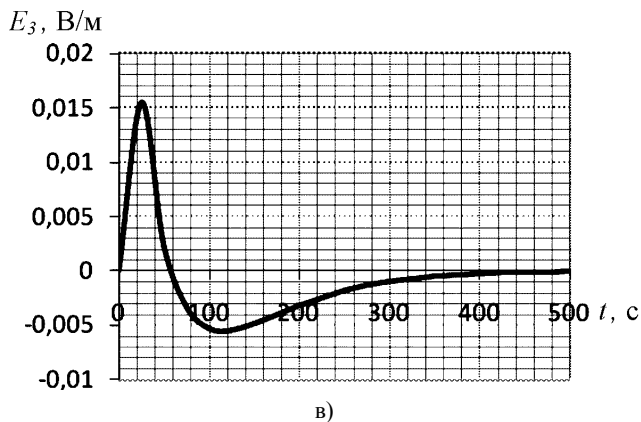
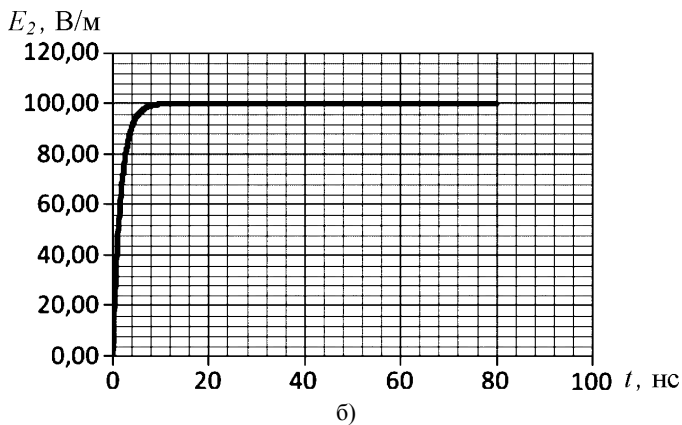
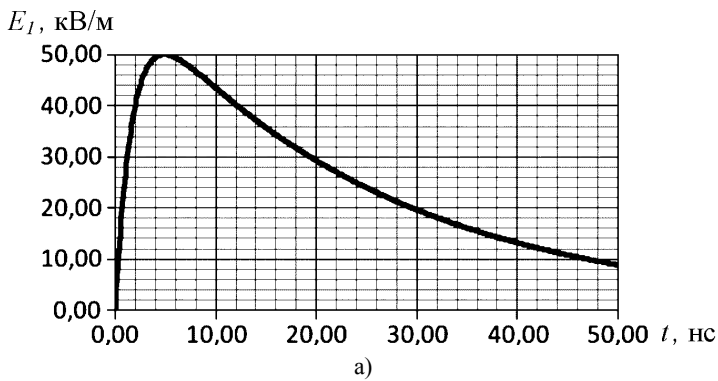


Рисунок 1 – Типові форми раннього (а), проміжного (б) і пізнього (в) ЕМВ ЯВ

Таблиця 1 – Чисельні значення параметрів і коефіцієнтів для аналітичного опису форм ЕМВ висотного ЯВ [2]

Форма ЕМВ ЯВ	$E_0$ , В/м	$k$	$\alpha_1$ , $\text{с}^{-1}$	$\alpha_2$ , $\text{с}^{-1}$
Рання $E_I$	50 000	1,3	$4 \cdot 10^7$	$6 \cdot 10^8$
Проміжна $E_2$	100	1	$10^3$	$6 \cdot 10^8$
Пізня $E_3$	0,04	1,058	0,02	2
$E_3 = E_i + E_j$	0,01326	9,481	0,015	0,02

Аналогічним чином моделюються і імпульси, що виникають у результаті розрядів блискавки.

Відповідно до міжнародно-прийнятою у високовольтній імпульсній техніці методикою блискавичний розряд апроксимується уніполярним імпульсом біекспоненціальної форми, що характеризується трьома параметрами [3]:

- амплітудою  $A_M$ ;
  - тривалістю фронту  $T_\phi = T_{0,9} - T_{0,1}$ ;
  - тривалістю напівспаду  $T_c = T_{0,5}$
- і записується як імпульс форми  $T_\phi/T_c$ , мкс.

В нині діючих нормативних документах цієї області наведені різні версії імпульсів блискавичного розряду, а саме:

- іспитовий імпульс магнітного поля форми 2/50 мкс за ДСТ 30585-98 (ДСТУ 3681 -98) [3], п.6.2.2;
- іспитовий імпульс електромагнітного поля форми 0,1/1 мкс [3], п.6.2.3;
- іспитовий імпульс магнітного поля вдалині від каналу прямого удару блискавки форми 6,4/16 мкс [3];
- імпульс прямого удару блискавки амплітудою 200 кА по КТ-ВВФ/DO-160D/ED-14D [3], застосовуваний при випробуваннях на ЕМС літаків, що містить чотири фрагменти, причому при випробуваннях можуть використовуватися як окремі фрагменти, так і їхні різні комбінації.

Таким чином, сумарний амплітудно-часовий діапазон всіх видів іспитових імпульсних магнітних полів (ІМП) лежить у межах:

- за амплітудою  $H_m$  від 40 до 10000 А/м;
- за часовими параметрами від 0,1 мкс до 5 мс.

Проте значний інтерес викликає вивчення більш коротких потужних електричних імпульсів тривалістю близько однієї наносекунди, що зумовлене наступним:

- такі імпульси мають значно більш широкий спектр (одиниці ГГц), тому розповсюджуються у просторі на значні дальності;
- оскільки потужність, що потрібна для ураження радіоелектронних засобів, зменшується зі скороченням тривалості імпульсу, то слід очі-

- кувати значного підвищення ефективності при використанні таких імпульсів у електромагнітній зброї;
- шляхи впливу таких імпульсів на РЕЗ значно різноманітніші, ніж, приміром, у імпульсів магнітного поля; при цьому за рахунок малих розмірів елементів, на які має місце вплив, як правило відбувається диференціювання імпульсу.

На підставі вищесказаного як дійсну модель ІМТ пропонується використовувати функцію  $E(t) = E(z=0, t)$  [4] вигляду:

$$E(t) = E_0 \left(\frac{t}{T}\right)^N \left(M^{N+1} e^{-M\frac{t}{T}} - e^{-\frac{t}{T}}\right) \cdot H(t), \quad (3)$$

де  $H(t)$  – функція включення.

Модель (3) задовольняє умові нульового значення спектральної функції  $E(\omega)$  на нульовій частоті ( $\omega = 0$ ) (1), що відповідає вимозі знакозмінності випромінюваного поля.

Безрозмірні величини  $M > 1$  і  $N > 0$ , а також  $T$  (має розмірність часу) характеризують як форму, так і тривалість ІМТ.

Типовий графік таких функцій представлений на рис. 2 (а –  $M = 2$ ,  $N = 3$ ,  $T = 1$  нс, б –  $M = 3$ ,  $N = 3$ ,  $T = 1$  нс, в –  $M = 2$ ,  $N = 5$ ,  $T = 1$  нс).

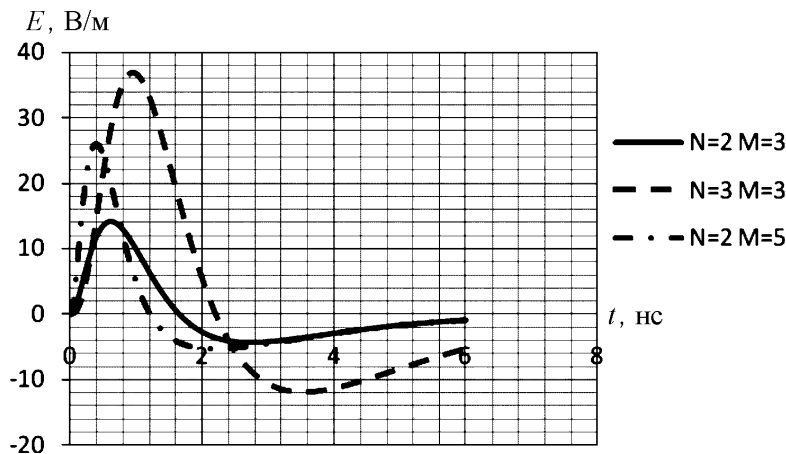


Рисунок 2 – Форма імпульсу малої тривалості

Принциповим і відмінним від більшості моделей, що раніше використовувалися, представляється наявність множників  $H(t)$  і  $(t/T)^N$ , що забезпечують виконання принципу причинності ( $E(t) = 0$  при  $t < 0$ ) і плавне включення ІМТ (моделі зі стрибкоподібним наростанням можуть привести до неможливості фізичної реалізації). Саме розривність у часі перших моделей, що пропонувалися, була однією з причин заперечень проти можливості технічної реалізації й доцільності використання ІМТ.

Вибір форми початкового ІМТ у вигляді (3) у достатньому ступені умовний. На користь цієї моделі говорить гарне узгодження її з експериментальними даними. Остаточний вибір повинен бути пов'язаний з можливістю найкращої апроксимації реального імпульсу на виході антенного пристрою, хоча при такому розгляді питання можна насправді працювати з довільною формою  $E(t)$ , що зведеться просто до збільшення обсягу машинного ліку.

При моделюванні вимірювачів параметрів широкосмугових сигналів на основі імпульсів малої тривалості дана модель може бути використана для одержання відліків значень вхідного сигналу. При цьому, оскільки після стробоскопічного перетворювача з'являється додаткова помилка, то математичну модель вимірювача параметрів широкосмугових сигналів на основі імпульсів малої тривалості, що реалізує метод стробоскопічного перетворення [5], у випадку завдання вхідного сигналу виразом (3) пропонується представити у вигляді

$$Y = q \cdot \text{Int} \left\{ \frac{E_0 \left( \frac{t}{T} \right)^N \left( M^{N+1} e^{-M \frac{t}{T}} - e^{-\frac{t}{T}} \right) + S(t)}{q} + \frac{\text{Sign} \left( E_0 \left( \frac{t}{T} \right)^N \left( M^{N+1} e^{-M \frac{t}{T}} - e^{-\frac{t}{T}} \right) + S(t) \right)}{2} \right\} H(t), \quad (4)$$

де  $S(t)$  – деякий випадковий процес, що характеризує міжперіодну нестабільність амплітуди імпульсів.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень можна зробити висновки, що зазначена модель, яка може бути досить просто реалізована на будь-якій алгоритмічній мові й використана для аналізу різних алгоритмів обробки результатів вимірів, дозволяє з великою достовірністю відобразити весь спектр імпульсів малої тривалості, що викликають потребу подальшого аналізу.

**Список літератури:** 1. Блейхут Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. – Пер. с англ. – М., Мир, 1989. 2. Кравченко В.И. Электромагнитное оружие. – Харьков: Изд-во НТУ «ХПИ», 2008. 3. Немченко Ю.С. Широкополосные средства измерений импульсных магнитных полей. – Вісник НТУ «ХПИ» Тематичний випуск «Техніка і електрофізика високих напруг», вип. №20'2007. 4. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – Пер.с англ. И.Г.Журбенко и В.П.Носко. – М.: Мир, 1976. 5. Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1990.

*Надійшла до редколегії 15.09.2008.*